

---

# 내환경성 금속인식 정보단말기에 관한 연구

최규남\*

Data Terminal for Metal Detection Application in Hazardous Environment

Kyoo Nam Choi\*

---

이 논문은 2010년도 인천대학교 자체연구비 지원에 의하여 수행되었음

---

## 요 약

고온다습하며 이물질이 존재하는 일반적인 금속감지 기술이 적용되기 어려운 환경에서도 사용할 수 있는 금속 위치감지 방법을 제안한다. 섭씨 300도가 넘는 환경에서는 마이크로웨이브, 초음파, 광파를 매체로 하는 일반적인 송수신용 전자소자를 사용하는 금속감지 센서는 전자소자의 동작온도 범위를 넘어서므로 적용하는데 어려움이 있었다. 본 연구에서는 금속감지를 위하여 노출되는 면에는 수동소자를 사용하고 전자파를 금속 위치감지에 이용하는 기법을 사용한 금속의 위치감지 장치에서 전자파의 주파수, 감지거리가 금속감지 센서의 감도에 미치는 영향을 측정하였다. 측정된 결과는 500mm 간격에서도 1mm 해상도를 갖고 위치를 감지할 수 있으며 고온에서도 금속의 위치 측정이 가능함을 보여주었다.

## ABSTRACT

The novel metal position detection method is proposed where conventional techniques, in high temperature, moisture and particle environment, are not able to be applied. It is known that electronic devices, utilizing microwave, ultrasonic or optical technique, are hard to apply for sensing application where temperature is exceeding above 300 degree centigrade. Metal position detection technique, which was consisted with passive elements facing hot sensing surface, utilizing electromagnetic wave was investigated, and the metal detection sensitivity was measured by varying sensor frequency and sensing distance. Measurement result in laboratory test set-up showed position measurement resolution up to 1mm, when distance between two sensing elements were 500mm, and possibility to measure position of hot metal sheet having very high surface temperature.

## 키워드

금속 센서, 중앙제어 센서, 내환경성 센서

## Key word

metal detection, center control, hazardous application sensor

---

\* 증신회원 : 인천대학교 정보통신공학과 (knchoi@incheon.ac.kr)

접수일자 : 2011. 02. 03

심사완료일자 : 2011. 03. 02

## I. 서 론

공장에 설치하여 기계의 작동 패러미터들을 실시간으로 중앙감시센터(CCR)에 유무선으로 전송하는 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)의 단말에 위치하는 정보단말기(DT)는 입력 인터페이스에 연결되는 센서의 성능에 의하여 정밀도가 결정되며 센서로부터의 출력특성에 따라 선형화된 데이터로 변환시키는 알고리즘이 달라진다.

제철소의 강판 권취기 등에 설치하여 뜨거운 강판의 폭을 감지하며 강판의 중심이 일정한 점을 유지하도록 제어하는데 필수적인 금속판 폭 감지 센서는 섭씨 1000도에 가까운 철판에서 방사하는 열과 주변의 수증기 및 비산하는 먼지 등에 의하여 일반적인 전자소자를 이용하는 폭 감지 센서는 열에 의하여 동작온도 한계를 넘어서며, 수증기 및 비산 먼지가 센서 표면에 적층되어 센서의 특성을 변화시키므로 적용이 어렵다.

따라서 이러한 전자소자를 이용한 센서가 작동하기 어려운 고온 다습 분진의 혹독한 환경에서도 금속판의 폭을 감지할 수 있는 금속폭 감지 방식이 요구되었고 이러한 센서로부터의 출력신호를 USN 상의 정보단말기에 선형 데이터로 변환시키는 알고리즘도 필요하였다.

국외에서는 코일을 이용한 센서로 물체의 위치 변화를 측정하는 여러 가지 방법들이 시도된 바 있다. Duric은 1쌍의 코일에서 한 개의 코일을 단락시키면서 이동시키는 방식[1-2],[5]을 제안하였다. 그리고 Droxler는 마이크로 단위의 스케일에서 로봇틱스에 적용하기 위하여 센서를 구현[3-4],[6]한바있다. Dimitropoulos는 센서의 움직임을 시뮬레이션하기 위하여 마그네틱 히스테리시스 모델을 사용[7]하기도 하였다. 아주 작은 움직임을 감지하기 위하여 Yingfeng은 적외선을 사용[8]하는 방법을 제시하였다. 또한 두 개의 다른 크기의 코일 쌍을 사용하여 물체의 높이와 전도도를 동시에 측정하는 방법[9]도 제시된 바 있다. 그러나 종래의 방식에서는 250mm 이상 간격에서 안정적으로 고온의 금속판의 폭을 고해상도로 측정하는 방법은 제시되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 위상감지 검출방식을 사용하여 500mm 이상의 간격에서도 금속판의 위치 및 폭을 감지할 수 있는 센서를 채용한 내환경성 금속인식 정보단말기에 대하여 연구하였다.

논문의 구성은 2장에서는 인덕티브 방식 금속위치 감지 방식에 대하여 논하고 3장에서는 실험방법에 대하여 논하였고 4장에서는 실험결과, 마지막으로 5장에서 결론으로 끝맺었다.

## II. 인덕티브 방식 금속위치 감지

인덕티브 금속위치 감지 방식은 아래 그림 1과 같이 송신용 루프코일과 수신용 루프코일 간의 거리가 전자파의 파장보다 훨씬 작은 근거리 전자장 하에서는, 식 (1)과 같이 패러데이의 유도법칙에 따라 송수신기 안테나간에 전자기유도(Induction) 루프를 구성하고, 송신기측 코일에 정현파 신호를 흘려 전자기장을 발생시키면 고정되어있는 수신기측 안테나에 유기기전력이 유기되게 하는 방식이다. 여기서 N은 권선수, B는 균일자기장, A는 코일의 면적, l은 코일의 한변의 길이를 나타낸다.

$$V = -N \frac{d(BA)}{dt} = NBl \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

이때 전자기유도 루프 내에 금속물체가 놓이면 식 (1)에서 면적 A가 변화되어 수신기측 안테나에 유기되는 유도전압이 변화 하는 것을 검출하여 금속의 위치를 감지하는 방식인 것이다.

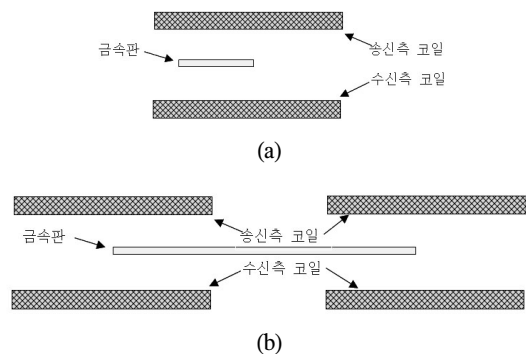


그림 1. 인덕티브 방식 금속위치 감지기의 개념;  
(a) 1쌍코일 방식, (b) 2쌍코일 방식  
Fig. 1 Concept of metal position detection using inductive sensing; (a) 1 pair loop coil, (b) 2 pair loop coils

금속판의 크기가 코일보다 작을 경우, 위 그림 1(a)에서와 같이 1개의 코일만을 사용할 경우에는 금속판의 폭은 감지할 수 있지만 절대적인 위치는 파악할 수 없게 된다. 그러나 위 그림 1(b)에서와 같이 2개의 코일을 사용하는 경우에는 금속판의 전체적인 폭과 중심위치를 감지할 수 있게 된다.

### III. 실험

기초 실험에서는 송신측 루프코일과 수신측 루프코일의 간격을 50cm로 설정하고, 루프코일의 제작은 5mm 두께의 베이클라이트 기판위에 황동재질의 두께가 2mm 인 금속판을 사용하여 CAM 방식으로 11권수의 100mm x 550mm 크기의 루프안테나 패턴을 제작하였다. 루프안테나의 크기를 그림 2에 나타내고 실제 제작된 송신측 안테나의 사진을 그림 3에 보이고 있다.

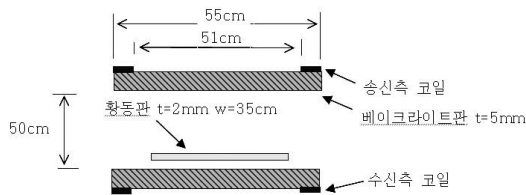


그림 2. 송신용 및 수신용 루프안테나 코일의 치수  
Fig. 2 Dimension of TX and RX loop antenna coils



그림 3. 제작된 루프안테나 사진  
Fig. 3 Photo of fabricated loop antenna

송신측 안테나 루프코일과 수신측 안테나 루프코일로 구성된 전자기유도 루프내의 전자파 결합 효율은 송신측 코일에 인가되는 신호주파수와 송신기 출력전력에 영향을 받게 된다. 출력전력을 크게 증가시키면 큰 수신전압을 얻을 수 있지만 전력손실이 커져 비효율적이며 발생하는 열이 증가하므로 최소의 송신 전력으로 수신측에서 요구되는 신호대잡음비를 얻기 위해서는 인가하는 송신신호의 적정 주파수를 결정할 필요가 있

다. 이러한 적정 주파수는 안테나의 모양, 크기, 송신 및 수신측 안테나간의 거리 등에 따라 적정치가 달라지므로 실제 적용되는 금속감지 인덕티브 센서에 맞는 모형을 제작해 실험하였다. 센서의 주파수 특성은 임의파형 합성기로부터 송신측 안테나에 인가되는 정현파 교류신호의 주파수를 변화시키며 그 특성을 측정하였다. 일반적인 수신기로는 이러한 미약한 신호를 충분한 신호대잡음비(SNR)로 수신할 수 없기 때문에 식 (2)와 같이 표시되는 위상감지 방식을 사용하여 수신하였다. 여기서  $U_o$ 는 직류출력,  $f_{ref}$ 는 참조주파수,  $U_i$ 는 입력신호,  $T$ 는 적분주기,  $\phi$ 는 위상차를 나타낸다.

$$U_o(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t \sin[2\pi f_{ref} \cdot s + \phi] U_i(s) ds \quad (2)$$

아래 그림 4에서 금속감지 인덕티브 센서 측정장치의 블록도를 나타내었다.

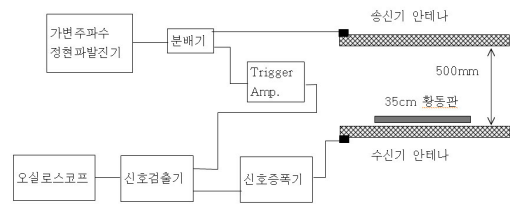


그림 4. 센서 측정장치 블록도  
Fig. 4 Block diagram of sensor measurement setup

### IV. 실험결과

그림 5에 나타낸 것과 같이 송신기 주파수 변화에 따른 수신기의 직류 출력전압과의 관계는 송신주파수가 60~40kHz 일 때 전자기유도 효율이 최대가 되며 주파수가 낮아질수록 효율이 점진적으로 저하되다가 10kHz 미만에서는 급격히 낮아짐을 알 수 있다. 이러한 주파수 특성 측정은 안테나의 임피던스와 송신기의 출력부하 임피던스 특성이 주파수가 변화되면 종속적으로 변화되므로 제한적인 범위 내에서만 추론이 가능할 것이다. 우리가 사용하려는 금속감지 센서는 금속이 송신용 루프안테나와 수신용 루프안테나 사이에서 이동시 점유하는 면적이 커질수록 수신기에서의 출력신호의 감쇠폭

이 커야 효율적이다. 그림 5에서 전자기유도 루프 내에 금속판을 넣으면 수신기의 신호출력이 상부 곡선에서 하부 곡선과 같이 저하되므로 금속을 인식 가능함을 보여준다. 그림에서 전송효율 측면에서 전자기유도 효율이 좋은 20kHz 대역이 적정 주파수로 판단된다.

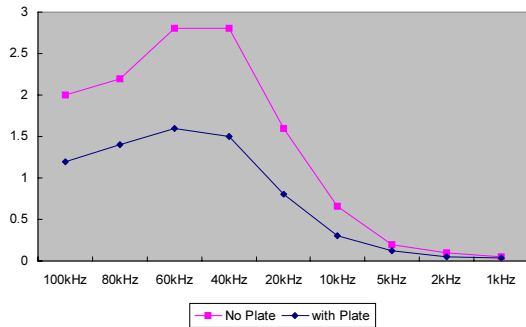


그림 5. 송신측 주파수에 따른 수신측 출력전압  
Fig. 5 Characteristics of RX output voltage versus TX frequency

시험에 사용된 금속판의 폭(35cm)은 안테나의 평균 넓이(53cm)의 66% 이므로 이상적으로는 감쇠율이 34% 까지 떨어져야 하나 측정된 감쇠율은 송신주파수가 20kHz에서 약 1/2 수준인 것은 폭이 무한히 크지 않은 것에 기인한 것으로 추론되며, 참조값표(Look-up Table)를 사용하여 센서의 출력전압을 보정 하여야 할 것이다. 아래 그림 6에 송신기 주파수에 따른 금속판 삽입시 수신기에서의 신호감쇠율을 나타내고 있다.

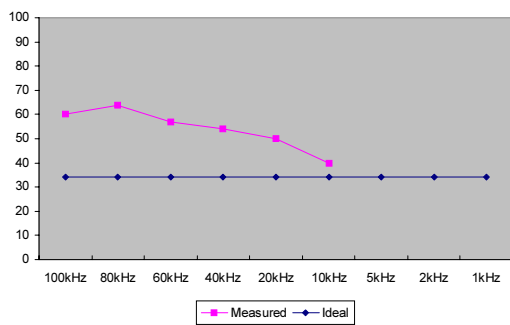


그림 6. 금속판이 루프내 66% 점유시 송신주파수에 따른 수신기 출력신호 감쇠 비율  
Fig. 6 Attenuation rate of RX output versus TX frequency when metal plate covers 66% of loop antenna length

금속판 넓이 감지정밀도는 위 그림 6에서와 같이 주파수가 낮아질수록 실제 점유폭에 근접하여 감지함을 알 수 있었다. 즉 전송효율은 낮아지지만 감지정밀도는 낮은 주파수가 효율적임을 알 수 있었다.

송신측 안테나 코일과 수신측 안테나 코일로 구성된 전자기유도 루프에서 송신측 안테나 코일과 수신측 안테나 코일간의 거리가 수신기 출력에 어떠한 영향을 줄 것인지에 대하여 송신측 주파수를 변화시키면서 측정하여 보았다. 이 측정은 송신측 코일에 인가되는 교류전력의 적정치와 수신기의 수신감도를 결정하기 위함이다. 실험은 송신측 안테나와 수신측 안테나 간의 거리를 25cm와 50cm 두 가지 경우로 설정하여 측정하였다.

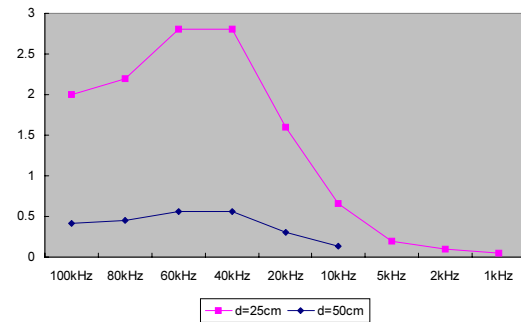


그림 7. 송신안테나와 수신안테나간의 거리가 수신기 출력전압에 미치는 영향과 송신주파수와 관계  
Fig. 7 Effect of separation distance between TX and RX loop antennas versus TX frequency

그림 7에 나타난 측정결과와 같이 송신용 루프안테나와 수신용 루프안테나 간의 거리가 25cm에서 50cm로 2배 증가하면 이론적으로는 수신출력은 거리의 제곱에 반비례하므로 수신출력은 1/4 이 되어야하나 실제 측정 결과는 기대치보다 약 20% 정도 더 감쇠 되는 것을 보여 주고 있다.

위 실험결과에 따라 최적 송신주파수인 20kHz정현파를 송신측 안테나 코일에 인가하여 수신측 안테나 코일과 전자기유도 루프를 구성하여 금속감지 센서를 구현하였다. 아래 그림 8에서 상부파형들은 송신기의 송신주파수를 나타내고 하부파형들은 수신기의 직류출력전압을 나타내고 있다. 그림 8(a)는 전자기유도 루프 내에 금속판이 존재하지 않을 때이고 그림 8(b)는 전자기유도 루프 내에 금속판을 삽입했을 경우의 파형을 나타내고 있다.

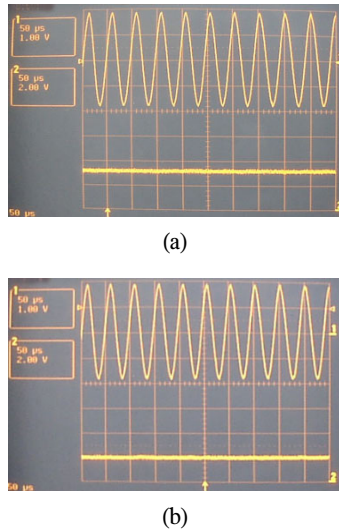


그림 8. 20kHz 송신주파수를 사용하는 인덕티브 금속감지 센서의 신호 파형(x=50us/div, y=1V/div(상부), y=2V/div(하부)); (a) 금속판이 없을 경우, (b) 금속판이 있을 경우

Fig. 8 Output waveform of inductive metal position sensor using 20kHz transmission frequency(x=50us/div, y=1V/div(upper), y=2V/div(lower)); (a) without metal plate, (b) with metal plate

그림 8(a)에서 외부에서 금속판을 삽입시키지 않았을 때는 수신기 출력단자에서의 DC 수신전압은 약 3.4V를 나타내고 있고 외부 잡음의 영향이 없는 흔들리지 않는 깨끗한 신호출력을 보이고 있다. 그림 8(b)와 같이 센서에 두께 2mm 넓이 35cm의 황동판을 삽입하였을 때는 수신기 출력단자에서의 DC 수신전압은 약 2.0V를 나타내고 있다. 이는 원신호 출력이 약 60% 감소된 것에 해당한다.

전자기유도 루프 내 금속판의 수직방향에서의 높이가 출력의 직선성에 미치는 영향을 그림 9와 같이 측정하였다. 송신측 루프안테나와 수신측 루프안테나로 구성된 전자기유도 루프 내에서 금속판(황동판)이 상하로 수직이동 할 때 위치에 따른 수신기 직류출력전압의 변화를 측정하였다. 위 그림 9에서와 같이 전자기유도 루프의 중간위치(그림 9의 수신측 루프안테나에서 25cm 높이)에서는 금속판이 맨 아래쪽이나 위쪽에 위치할 때와 비교하여 약 10% 정도 덜 감소 되는 것을 알 수 있다.

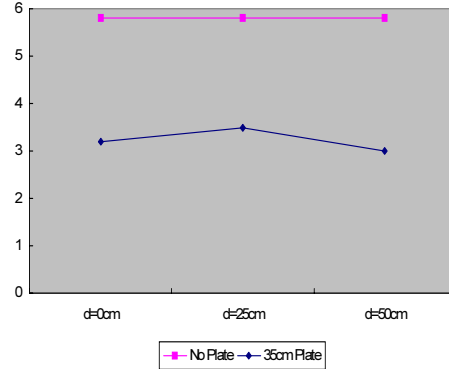


그림 9. 송신용 루프안테나와 수신용 루프안테나 간격에서의 금속판의 수직방향 위치가 수신기 출력전압에 미치는 영향

Fig. 9 Effect of vertical height of metal plate between TX loop antenna and RX loop antenna

CH. B Resolution Characteristics

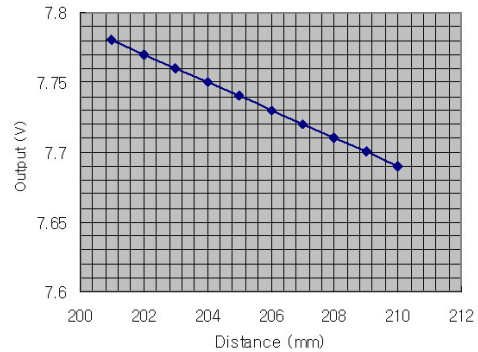


그림 10. 금속판 이동거리에 따른 수신기 출력전압  
Fig. 10 RX output voltage versus metal plate travel distance

금속판의 이동거리에 따른 수신기 출력전압과의 이동거리 해상도는 수신안테나의 중간지점에서 20cm 되는 지점으로부터 10mm 구간에 대하여 시험하였다. 시험결과는 그림 10과 같이 1mm 거리 해상도를 가지고 있음을 알 수 있었다.

USN 네트워크에 접속하여 출력신호를 외부 네트워크에 전송할 수 있도록 센서출력 단자에 RS485 인터페이스를 추가하여 그림 11과 같이 금속인식 정보단말기를 제작하였다.

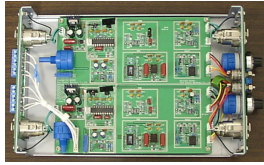


그림 11. 금속인식 정보단말기 내부  
Fig. 11 Internal view of metal position detection data terminal equipment

### V. 결 론

적열된 철판과 같은 고온 환경에서도 금속의 위치를 측정할 수 있는 내환경성 금속 위치 감지 센서에 대하여 연구하였다. 송신용 루프안테나와 수신용 루프안테나로 구성된 전자기유도 루프안에서 금속판이 이동할 때 송신기의 주파수 변화에 따른 수신기의 출력전압, 금속판 삽입시의 신호감쇠율, 송수신 루프안테나 간의 거리, 금속판의 수직위치의 영향에 대하여 측정하였다. 송신기의 주파수가 20kHz 전후 일 때 전자기유도 효율이 비교적 높으며 금속판에 대한 신호 감쇠율이 높아 금속인식에 효율적임을 알 수 있었다. 송수신안테나 간의 거리가 멀어지면 신호출력은 이격거리의 제곱에 반비례하나 실제 출력신호는 20% 정도 더 감쇠됨을 알 수 있었다. 또한 금속감지위치 정밀도는 1mm의 위치 해상도를 가짐을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 2010년도 인천대학교 자체연구비 지원에 의하여 수행되었음.

### 참고문헌

[1] S. Duric, L. Nad, B. Biberdzic, M. Damnjanovic, L. Zivanov, "Planar inductive sensor for small displacement," Microelectronics 2008, 26th Intl. Conf. MIEL 2008, 11-14 May 2008.  
[2] M.S. Damnjanovic, L.D. Zivanov, L. F. Nagy, S.M. Djuric, B.N. Biberdzic, "A Novel Approach to Extending the Linearity Range of Displacement Inductive Sensor,"

IEEE Trans. on Magnetics, Nov. 2008.

[3] M. Jagiella, S. Fericean, "Miniaturized inductive sensors for industrial applications," Sensors, 2002. Proc. of IEEE, 12-14 June 2002.  
[4] S. Fericean, R. Droxler, "New Noncontacting Inductive Analog Proximity and Inductive Linear Displacement Sensors for Industrial Automation," IEEE Sensors J., Nov. 2007.  
[5] S.M. Djuric, M.S. Damnjanovic, L.F. Nagy, L.D. Zivanov, N.M. Djuric, "Displacement inductive sensor: Simulation tool algorithm," EUROCON 2009, IEEE EUROCON '09, 18-23 May 2009.  
[6] M. Jagiella, S. Fericean, R. Droxler, "New Non-contacting Linear Displacement Inductive Sensors for Industrial Automation," 5th IEEE Conf. on Sensors, Oct. 2007.  
[7] P.D. Dimitropoulos, G.I. Stamoulis, E. Hristoforou, "A 3-D hybrid Jiles-Atherton/Stoner-Wohlfarth magnetic hysteresis model for inductive sensors and actuators," IEEE Sensors J., June 2006.  
[8] S. Yingfen, J.E. Speich, K.K. Leang, "Low-Cost IR Reflective Sensors for Submicrolevel Position Measurement and Control," IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, Dec. 2008.  
[9] Y. Wuliang, A.J. Peyton, G. Zysko, R. Denno, "Simultaneous Noncontact Measurement of Water Level and Conductivity," IEEE Trans. on Inst. and Meas., Nov. 2008.

### 저자소개



최규남(Kyoo Nam Choi)

인천대학교 정보통신공학과 교수  
인천전문대학 정보통신과 교수  
미국 CEMDAS 연구소 연구원  
LG전자기술원 연구실장

Texas A&M Univ. 공학박사  
Texas A&M Univ. 공학석사  
서울대학교, 공학사

※관심분야: 센서, 광전자기기, 계측제어